

PUB-NO: JP02002241837A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 2002241837 A

TITLE: METHOD FOR PRODUCING HIGH TOUGHNESS AND HIGH TENSILE STRENGTH STEEL

PUBN-DATE: August 28, 2002

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
<u>SUWA, MINORU</u>	

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
NKK CORP	

APPL-NO: JP2001036241

APPL-DATE: February 14, 2001

INT-CL (IPC): C21D 8/00; C22C 38/00; C22C 38/06; C22C 38/58

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method for producing a high toughness and high tensile strength steel in a class of ≥ 590 MPa ss by direct quenching and tempering which can deal with steels of every thickness, and causes little placement of restrictions on the heating and cooling capabilities of equipment used for tempering heat treatment.

SOLUTION: A steel having a composition containing, by mass, 0.05 to 0.35% C, 0.05 to 0.6% Si, 0.8 to 2% Mn and 0.002 to 0.07% sol.Al, and the balance substantially Fe is heated, and is thereafter rolled so as to be finished in the temperature range of the Ar3 point or higher. After that, the steel is cooled from a state in which the thickness average temperature of the sheet is \geq Ar3 point till the thickness average temperature of the sheet thickness reaches $\leq 500^{\circ}\text{C}$ at the average cooling rate of $\geq 2^{\circ}\text{C}/\text{sec}$. Then, the steel sheet is subjected to tempering at the maximum arrival temperature of $\geq 500^{\circ}\text{C}$ and at the heating rate of $\geq 0.5^{\circ}\text{C}/\text{sec}$ in the temperature range of $\geq 500^{\circ}\text{C}$ so that the tempering parameter TP is controlled to $\leq 21,000$.

COPYRIGHT: (C)2002, JPO

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マコ-ト*(参考)
C 2 1 D 8/00		C 2 1 D 8/00	B 4 K 0 3 2
// C 2 2 C 38/00	3 0 1	C 2 2 C 38/00	3 0 1 A
38/06		38/06	
38/58		38/58	

審査請求 未請求 請求項の数3 O L （全 7 頁）

(21)出願番号	特願2001－36241(P2001－36241)	(71)出願人	000004123 日本鋼管株式会社 東京都千代田区丸の内一丁目1番2号
(22)出願日	平成13年 2 月14日(2001. 2. 14)	(72)発明者	諏訪 稔 東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日 本鋼管株式会社内
		(74)代理人	100116230 弁理士 中濱 泰光
		Fターム(参考)	4K032 AA01 AA02 AA04 AA05 AA08 AA11 AA12 AA14 AA15 AA16 AA19 AA20 AA22 AA23 AA24 AA31 AA35 AA36 CC03 CC04 CD02 CD03 CF01 CF02

(54)【発明の名称】 高靱性高張力鋼の製造方法

(57)【要約】

【課題】 あらゆる肉厚の鋼材に対応することが可能であり、また焼戻し熱処理に使用する設備の加熱および冷却能力に制約を受けることが少ない、590MPa級以上の高靱性高張力鋼の直接焼入れ焼戻しによる製造方法を提供すること。

【解決手段】 質量％で、C：0.05～0.35％、Si：0.05～0.6％、Mn：0.8～2％、s o l . A l：0.002～0.07％を含有し、残部が実質的にF eからなる鋼を、加熱後圧延してAr₃点以上の温度域で圧延を終了し、圧延後、板厚平均温度がAr₃点以上の状態から、板厚平均温度が500℃以下となるまで、2℃／秒以上の平均冷却速度で冷却を行い、次いで、焼戻しを、最高到達温度を500℃以上とし、加熱速度が500℃以上の温度範囲において0.5℃／秒以上とし、かつ、焼戻しパラメーターT Pが21000以下となるように行うことを特徴とする製造方法を用いる。

【特許請求の範囲】

【請求項1】 質量%で、C：0.05～0.35%、Si：0.05～0.6%、Mn：0.8～2%、sol. Al：0.002～0.07%を含有し、残部が実質的にFeからなる鋼を、加熱後圧延してAr₃点以上の温度域で圧延を終了し、圧延後、板厚平均温度がAr₃点以上の状態から、板厚平均温度が500℃以下となるま*

$$TP = (T+273) (\log((T-500)/(0.16Rc) + (T-500)/(25Rr) + t) + 20) \cdots \cdots (1)$$

$$TP \leq 21000 \cdots \cdots (2)$$

但し、T：焼戻し最高到達温度(℃)、t：T℃での保持時間(秒)、Rc：500℃からT℃までの加熱速度(℃/秒)、Rr：T℃から500℃までの冷却速度(℃/秒)

【請求項2】 質量%で、C：0.05～0.35%、Si：0.05～0.6%、Mn：0.8～2%、sol. Al：0.002～0.07%を含有し、更に、Nb：0.05%以下、V：0.1%以下、Cr：10%以下、Mo：3.5%以下、Cu：3%以下、Ni：10%以下、B：0.005%以下のうち、いずれか1種又は2種以上を含有し、残部が実質的にFeからなる鋼※

$$TP = (T+273) (\log((T-500)/(0.16Rc) + (T-500)/(25Rr) + t) + 20) \cdots \cdots (1)$$

$$TP \leq 21000 \cdots \cdots (2)$$

但し、T：焼戻し最高到達温度(℃)、t：T℃での保持時間(秒)、Rc：500℃からT℃までの加熱速度(℃/秒)、Rr：T℃から500℃までの冷却速度(℃/秒)

【請求項3】 質量%で、C：0.05～0.35%、Si：0.05～0.6%、Mn：0.8～2%、sol. Al：0.002～0.07%を含有し、更に、Nb：0.05%以下、V：0.1%以下、Cr：10%以下、Mo：3.5%以下、Cu：3%以下、Ni：10%以下、B：0.005%以下のうち、いずれか1種又は2種以上を含有し、更に、Ti：0.03%以下、Ca：0.004%以下のうち、いずれか1種又は2種★

$$TP = (T+273) (\log((T-500)/(0.16Rc) + (T-500)/(25Rr) + t) + 20) \cdots \cdots (1)$$

$$TP \leq 21000 \cdots \cdots (2)$$

但し、T：焼戻し最高到達温度(℃)、t：T℃での保持時間(秒)、Rc：500℃からT℃までの加熱速度(℃/秒)、Rr：T℃から500℃までの冷却速度(℃/秒)

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、建築、橋梁、水圧鉄管、低温貯蔵タンク、圧力容器、ラインパイプ、船舶、海洋構造物および建産機等に用いられる590MPa級(60キロ級)以上の高張力鋼の製造方法に関し、特に高靱性を有する高張力鋼の製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】建築、橋梁、水圧鉄管、低温貯蔵タンク、圧力容器、ラインパイプ、船舶海洋構造物および建産機等の大型構造物が脆性破壊を生じた場合、経済、環境に及ぼす影響が大きいと、高度の安全性が求められ☆50

※で、2℃/秒以上の平均冷却速度で冷却を行い、次いで、焼戻しを、最高到達温度を500℃以上とし、加熱速度が500℃以上の温度範囲において0.5℃/秒以上とし、かつ、下記の(1)式で示される焼戻しパラメーターTPが、下記の(2)式の条件を満たすように行うことを特徴とする高靱性高張力鋼の製造方法。

10※を、加熱後圧延してAr₃点以上の温度域で圧延を終了し、圧延後、板厚平均温度がAr₃点以上の状態から、板厚平均温度が500℃以下となるまで、2℃/秒以上の平均冷却速度で冷却を行い、次いで、焼戻しを、最高到達温度を500℃以上とし、加熱速度が500℃以上の温度範囲において0.5℃/秒以上とし、かつ、下記の(1)式で示される焼戻しパラメーターTPが、下記の(2)式の条件を満たすように行うことを特徴とする高靱性高張力鋼の製造方法。

★を含有し、残部が実質的にFeからなる鋼を、加熱後圧延してAr₃点以上の温度域で圧延を終了し、圧延後、板厚平均温度がAr₃点以上の状態から、板厚平均温度が500℃以下となるまで、2℃/秒以上の平均冷却速度で冷却を行い、次いで、焼戻しを、最高到達温度を500℃以上とし、加熱速度が500℃以上の温度範囲において0.5℃/秒以上とし、かつ、下記の(1)式で示される焼戻しパラメーターTPが、下記の(2)式の条件を満たすように行うことを特徴とする高靱性高張力鋼の製造方法。

☆ている。このため、これらの構造物に使用される鋼材に対しては低温靱性が要求されることが多く、その要求水準は極寒地における開発の進展、構造物の大型化、および信頼性要求基準の引き上げなどにより年々厳しくなっている。また、比較的低温靱性の確保が難しい厚肉材の需要が増加している。

【0003】一般に、590MPa級以上の高張力鋼は、焼入れ焼戻し熱処理により製造されており、その組織は主にベイナイトもしくはマルテンサイトまたはそれらの混合組織からなっている。この焼入れ処理は、従来、圧延後に室温まで冷えた鋼片を再加熱することにより行われているが、多大なエネルギーコストを要することと工期が長いことが問題であった。近年、この問題を解決するために、圧延後に直接焼入れを行う技術が開発され、コスト低減、工期短縮が図られている。しかし、直接焼入れにおいては、再加熱焼入れに比べて、加熱温

度が高いために加熱時のオーステナイト粒径が大きく、最終的に得られる組織も粗いものとなってしまう、韌性に劣るという問題がある。

【0004】直接焼入れにおける韌性改善方法として、焼戻し熱処理時に急速加熱、加速冷却を行う技術が特開平4-358022号公報に開示されている。しかし、この技術においては、実施例において板厚の最大が50mmであり、より韌性の確保が困難になる厚物の鋼板については必ずしも適正化された技術ではない。鋼材の肉厚が厚くなると、急速加熱と加速冷却において必要な速度を得ることが難しくなり、現状の設備では対応が難しい場合がある。さらに、焼戻し加熱後に加速冷却を行う設備は一般的には普及しておらず、現状ではほとんど対応不可能である。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】以上説明したように、直接焼入れ法により製造される590MPa級以上の高韌性高張力鋼の製造方法において、どのような板厚にも対応可能である焼戻し熱処理の適正化は未だ行われていないのが実情である。また、十分な加熱および冷却能力を有していない焼戻し熱処理設備においても対応可能な方法も開発されていない。

【0006】本発明は上記事情に鑑みなされたもので、その目的は、肉厚の厚いものも含むあらゆる肉厚の鋼材に対応することが可能であり、また焼戻し熱処理に使用する設備の加熱および冷却能力に制約を受けることが少*

$$TP = (T+273) (\log((T-500)/(0.16Rc) + (T-500)/(25Rr) + t) + 20) \dots\dots (1)$$

$$TP \leq 21000 \dots\dots (2)$$

但し、T：焼戻し最高温度(℃)、t：T℃での保持時間(秒)、Rc：500℃からT℃までの加熱速度(℃/秒)、Rr：T℃から500℃までの冷却速度(℃/秒)である。本件第2の発明は、本件第1の発明に記載の鋼組成に加えて更に、質量%で、Nb：0.05%以下、V：0.1%以下、Cr：10%以下、Mo：3.5%以下、Cu：3%以下、Ni：10%以下、B：0.005%以下のうち、いずれか1種又は2種以上を含有し、本件第1の発明に記載の製造方法を用いることを特徴とする高韌性高張力鋼の製造方法である。本件第3の発明は、本件第1の発明又は本件第2の発明に記載の鋼組成に加えて更に、質量%で、Ti：0.03%以下、Ca：0.004%以下のうち、いずれか1種又は2種を含有し、本件第1の発明に記載の製造方法を用いることを特徴とする高韌性高張力鋼の製造方法である。

【0009】

【発明の実施の形態】以下、本発明について具体的に説明する。本発明は、肉厚の厚いものも含むあらゆる肉厚の鋼材に対応することが可能であり、また焼戻し熱処理に使用する設備の加熱および冷却能力に制約を受けることが少ない、直接焼入れ焼戻しにより製造される590MPa級以上の高韌性高張力鋼の製造方法を提供するも※50

*ない、590MPa級以上の高韌性高張力鋼の直接焼入れ焼戻しによる製造方法を提供することである。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明者は、上記課題を達成するために鋭意研究を重ねた結果、焼戻し熱処理パラメーターの中で、鋼の強度については主に最高加熱温度で制御できるが、鋼の韌性については500℃以上の温度範囲における熱履歴全般、即ち、加熱速度、保持時間、冷却速度の組み合わせを最適化することにより大幅に向上させることができるとの知見を得た。そして、前記の知見が特定成分範囲の鋼で実現できることを見出して本発明の完成に至った。

【0008】本発明は、上記の知見に基づきなされたものであり、本件第1の発明は、鋼組成として、質量%で、C：0.05～0.35%、Si：0.05～0.6%、Mn：0.8～2%、sol. Al：0.002～0.07%を含有し、残部が実質的にFeからなる鋼を、加熱後圧延してAr₃点以上の温度域で圧延を終了し、圧延後、板厚平均温度がAr₃点以上の状態から、板厚平均温度が500℃以下となるまで、2℃/秒以上の平均冷却速度で冷却を行い、次いで、焼戻しを、最高到達温度が500℃以上とし、加熱速度が500℃以上の温度範囲において0.5℃/秒以上とし、かつ、下記の(1)式で示される焼戻しパラメーターTPが下記の(2)式の条件を満たすように行うことを特徴とする高韌性高張力鋼の製造方法である。

※のであり、例えば、通常の転炉や電気炉等で所定の鋼組成の鋼を溶製し、造塊一分塊法等により製造した鋼片や連続鑄造機等により得られた鋳片をそのまま或いは冷却した後に圧延、直接焼入れ、焼戻しを行うことにより製造するものとする。

【0010】製造された鋼材は、所定の強度を有し、韌性に優れたものとするために、主にベイナイトもしくはマルテンサイトまたはそれらの混合組織において、均一微細なセメンタイトが析出した組織とする。尚、その製造方法は、焼戻し熱処理における個々のパラメーターを最適化すると共に、その組み合わせを最適化することを基本方針に検討を行う中で得られたものであり、以下の知見に基づいている。

【0011】一般に、ベイナイトもしくはマルテンサイトまたはそれらの混合組織を主体とする鋼にセメンタイトを均一微細に分散させるためには、焼戻し熱処理中にセメンタイトの過度の凝集粗大化が起こることを阻止すればよい。そこで、まず焼戻し熱処理における各パラメーターとセメンタイトの凝集粗大化の関係を検討した。セメンタイトの凝集粗大化は、焼戻し温度が高いほど、また焼戻し温度における保持時間が長いほど進行することは従来から知られている。一方、加熱速度と冷却速度

については、両者とも速い方が良いという漠然とした知見が得られているのみであった。

【0012】本発明者は、焼戻しの保持時間、加熱速度、冷却速度とセメンタイトの凝集粗大化の関係を調べたところ、加熱速度と冷却速度がセメンタイト凝集粗大化に及ぼす影響は等価ではなく、冷却時に比べて加熱時の寄与がかなり大きいことを見出した。これと同時に、加熱速度は、500℃以上の温度範囲において0.5℃/秒以上でなければ、セメンタイトの凝集粗大化を抑制できないことも明らかとなった。一方、冷却速度は、放冷程度であれば、その影響はかなり小さいことも同時に見出した。また、最高到達温度における保持時間は、500℃以上の温度範囲における加熱速度および冷却速度と関係付けられることを見出した。これらの知見を総合し、定式化したものが前記(1)式であり、前記(1)式で表されるTPはセメンタイトの凝集粗大化の程度を示す焼戻しパラメーターである。この焼戻しパラメーターTPについて、靱性との関係を調査したところ、 $TP \leq 21000$ である場合には、従来製造法に比べて良好な靱性が得られることを見出した。

【0013】強度に関しては、上記のTPが $TP \leq 21000$ を満たす範囲においては、焼戻しの個々のパラメーターの中で、主に最高到達温度のみに影響を受けることを見出された。よって、材質設計手法としては、まず、必要とされる強度から成分と焼戻し最高温度を決定し、次に $TP \leq 21000$ を満たすような熱処理条件を選定するという手順が考えられる。

【0014】以下、上記の個々の条件について具体的に説明する。本発明において、必要とされる強度は590MPa級以上であり、成分組成を限定した理由は以下の通りである。

【0015】C：Cは強度を確保するために含有するが、0.05%未満ではその効果が十分でなく、一方、0.35%を超えると母材および溶接熱影響部の靱性が劣化するとともに溶接性が著しく劣化する。そのためC含有量を0.05～0.35%に限定する。

【0016】Si：Siは製鋼段階の脱酸剤及び強度向上元素として含有するが、0.05%未満ではその効果が不十分であり、一方、0.6%を超えると母材および溶接熱影響部の靱性が劣化するとともに溶接性が著しく劣化する。そのためSi含有量を0.05～0.6%に限定する。

【0017】Mn：Mnは強度を確保するために含有するが、0.8%未満ではその効果が不十分であり、一方、2%を越えると溶接熱影響部の靱性が劣化するとともに溶接性が著しく劣化する。そのためMn含有量を0.8～2%に限定する。

【0018】sol. Al：Alは脱酸のために添加する。sol. Al量で0.002%未満の場合にはその効果が十分でなく、一方、0.07%を超えて含有する

と、鋼材の表面疵が発生し易くなる。そのため、sol. Alを0.002～0.07%に限定する。尚、sol. Alとは、 Al_2O_3 などの酸化物になっていないAlであり、酸可溶Alとも呼ばれるものである。

【0019】Nb：Nbはマイクロアロイング元素として強度を向上させるために添加する。但し、0.05%を超えると溶接熱影響部の靱性を劣化させる。そのため、添加する場合には、Nb含有量を0.05%以下に限定する。

【0020】V：Vはマイクロアロイング元素として強度を向上させるために添加する。但し、0.1%を超えると溶接熱影響部の靱性を著しく劣化させる。そのため、添加する場合には、V含有量を0.1%以下に限定する。

【0021】Cr：Crは強度を向上させるために添加する。但し、10%を超えると溶接性及び溶接熱影響部の靱性が劣化する。そのため、添加する場合には、Cr含有量を10%以下に限定する。

【0022】Mo：Moは強度を向上させるために添加する。但し、3.5%を超えると溶接性及び溶接熱影響部の靱性が著しく劣化する。そのため、添加する場合には、Mo含有量を3.5%以下に限定する。

【0023】Cu：Cuは強度を向上させるために添加する。但し、3%を超えて添加するとCu割れの懸念が高まる。そのため、添加する場合にはCu含有量を3%以下に限定する。

【0024】Ni：Niは強度と靱性を向上させるために添加する。但し、10%を超えるとコストの上昇が著しい。そのため、添加する場合にはNi含有量を10%以下に限定する。

【0025】B：Bは焼入れ性を高め強度を向上させるために添加する。但し、0.005%を超えると靱性の劣化が著しい。そのため、添加する場合にはB含有量を0.005%以下に限定する。

【0026】Ti：Tiは圧延加熱時或いは溶接時にTiNを生成し、オーステナイト粒径を微細化し、母材靱性並びに溶接熱影響部の靱性をより一層向上させる。但し、その含有量が0.03%を超えると溶接熱影響部の靱性を劣化させる。そのため、添加する場合には、Ti含有量を0.03%以下に限定する。

【0027】Ca：Caは硫化物系介在物の形態を制御し靱性をより一層向上させる。但し、その含有量が0.004%を超えると効果が飽和し、逆に清浄度を低下させて靱性を劣化させる。そのため、添加する場合には、Ca含有量を0.004%以下に限定する。

【0028】そして、残部を実質的にFeとする。ここで、「残部が実質的にFeである」とは、本発明の作用効果を無くさない限り、不可避不純物をはじめ、他の微量元素を含有するものが本発明の範囲に含まれ得ることを意味するものとする。

【0029】次に、鋼組織について説明する。

【0030】一般に、590MPa級以上の強度の鋼においては、溶接性向上や合金コスト低減の観点から、低合金成分組成を指向した場合、製造方法として焼入れ焼戻しプロセスが選択され、鋼の組織を主にベイナイトもしくはマルテンサイトまたはそれらの混合組織からなるようにして強度を確保する。よって、本発明では、鋼の組織として、主にベイナイトもしくはマルテンサイトまたはそれらの混合組織からなるものを対象とした。ここで、機械的性質に大きな影響を及ぼさない範囲であれば、フェライト、残留オーステナイト、パーライト等のベイナイトとマルテンサイト以外の組織を少量含む場合*

$$Ar_3(^{\circ}C) = 910 - 310C - 80Mn - 20Cu - 15Cr - 55Ni - 80Mo \cdots \cdots (3)$$

但し(3)式において、各元素記号は質量%表示の含有量である。

【0034】直接焼入れ冷却条件：冷却条件は、鋼の組織が主にベイナイトもしくはマルテンサイトまたはそれらの混合組織となり、かつ、十分な強度を得るために限定する。冷却開始温度が Ar_3 点未満であると、フェライト変態が開始してしまい、所定の組織が得られない。冷却速度が $2^{\circ}C/秒$ 未満であると、フェライト変態やパーライト変態が起きてしまい所定の組織が得られない場合や、十分な焼入れ強度が得られない場合がある。冷却停止温度が $500^{\circ}C$ を超えると、十分な焼入れが得られず、所定の強度が得られない。よって、直接焼入れ冷却条件は、圧延後、板厚平均温度が Ar_3 点以上の状態から、板厚平均温度が $500^{\circ}C$ 以下となるまで、 $2^{\circ}C/秒$ 以上の平均冷却速度で冷却することとする。ここで、冷却時の温度を板厚平均温度により規定し、また冷却速度を平均速度で規定した理由は、鋼材の肉厚が大きい場合や冷却速度が速い場合には、板厚方向の各部位で温度履歴が異なってしまうことにより基準が明確でなくなってしまうのを防ぐために、鋼材の全体的な材質と最も良く関係する平均温度および平均速度を基準として設けたためである。尚、板厚平均温度および平均冷却速度は、表面温度および冷却条件等が与えられた場合に、シミュレーション計算等により求められるものを用いることができる。

【0035】最後に、本発明の根幹である焼戻し条件を限定した理由について説明する。

【0036】焼戻し条件：焼戻し条件は焼戻し時に析出するセメンタイトを均一微細なものとするにより、靱性を向上させることを目的に限定する。まず、焼戻し条件を $500^{\circ}C$ 以上の温度範囲に限定した理由は、 $500^{\circ}C$ 未満の温度範囲においては、セメンタイトのオストワルド成長による粗大化が実質的に問題にならないためであり、換言すれば、 $500^{\circ}C$ 以上の温度範囲における熱履歴さえ制御すればセメンタイトの形態、すなわち、靱性を通常の焼戻し熱処理により製造したものに比べて優れたものにすることができるためである。加熱速度が※50

※も対象とする。

【0031】次に、製造条件として、圧延条件と冷却条件を限定している理由について、個々の条件について説明する。

【0032】圧延条件：鋼の組織として主にベイナイトもしくはマルテンサイトまたはそれらの混合組織を得るために、焼入れ開始時の組織をほぼオーステナイト単相とする必要がある。このため、少なくとも圧延中にフェライト変態が始まらないように、圧延終了温度を Ar_3 点以上の温度と限定する。尚、 Ar_3 点は、例えば下記の(3)式で求めることができる。

【0033】

※ $0.5^{\circ}C/秒$ 未満であると、その他の焼戻しの個々のパラメーターをいかに適正化しても、高靱化を達成することはできない。本発明で用いる上記の(1)式で示される焼戻しパラメーターTPは、 $500^{\circ}C$ 以上の温度範囲における熱履歴を規定したもので、個々のパラメーターとしては焼戻し時の最高到達温度(T)、最高温度での保持時間(t)、 $500^{\circ}C$ から最高温度までの加熱速度(Rc)、最高温度から $500^{\circ}C$ までの冷却速度(Rr)の4項目があり、これらを組み合わせたものであり、セメンタイトの凝集粗大化の程度を表すパラメーターである。焼戻しパラメーターTPが21000を超えると、セメンタイトの凝集粗大化が起これ、靱性が劣化する。よって、焼戻し条件は、最高到達温度が $500^{\circ}C$ 以上とし、加熱速度が $500^{\circ}C$ 以上の温度範囲において $0.5^{\circ}C/秒$ 以上とし、かつ、上記の(1)式で示される焼戻しパラメーターTPが上記の(2)式の条件を満たすこととする。

【0037】実際に、加熱速度 $0.5^{\circ}C/秒$ 以上とし、上記(1)式と上記(2)式とを満たすためには、加熱方式として、誘導加熱、雰囲気加熱等の方式を用いることができる。ただし、肉厚が大きくなるにしたがって、所定の加熱速度を得るためには、誘導加熱や通電加熱等の方式が必要になる。保持時間は、最高到達温度のオーバーシュートを防ぐ等の制御性の観点から、ある程度必要であるが、短い方が好ましい。加速冷却は、必ずしも必要ではないが、用いることは差し支えない。

【0038】なお、焼入れから焼戻しまでの熱履歴については、一旦室温まで下がってから加熱を行ってもよいし、焼入れ時に $500^{\circ}C$ 以下の温度に冷却された直後に加熱を開始してもよい。よって、焼戻し熱処理炉の配置としては、オフライン上でもオンライン上でもかまわないが、エネルギーコストの観点からは、焼入れ直後に加熱が可能なオンライン上の配置が好ましい。

【0039】

【実施例】以下、本発明の実施例について説明する。表1に実施例で用いた供試鋼の成分を示す。表示しない残部は、実質的にFe及び不可避不純物よりなる。表1に

における鋼種A～Gは、成分組成が本発明の範囲内の鋼であり、一方、鋼種Hと鋼種IはそれぞれCとSiが本発明の範囲外となっている。これらの鋼組成を有する鋳片を加熱後、種々の板厚の厚鋼板に圧延し、圧延後、種々の直接焼入れ冷却条件で冷却、焼戻し熱処理を行い、2*

* 6種類の厚鋼板を製造した。表2に、各厚鋼板（鋼番1～26）の製造条件を示す。

【0040】

【表1】

(質量%)

鋼種	C	Si	Mn	P	S	sol.Al	N	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Ti	Nb	B	Ca
A	0.15	0.33	1.41	0.019	0.005	0.028	0.0039									
B	0.10	0.36	1.44	0.015	0.003	0.022	0.0031							0.023		
C	0.09	0.29	1.35	0.014	0.003	0.021	0.0019				0.18	0.043		0.018		
D	0.07	0.20	1.34	0.011	0.002	0.023	0.0028	0.21	1.46	0.46	0.45	0.042		0.010		
E	0.06	0.11	1.88	0.012	0.001	0.026	0.0017	0.28	0.17		0.15		0.013	0.043		0.0022
F	0.15	0.35	1.34	0.016	0.003	0.030	0.0034			0.09	0.11		0.012	0.019	0.0012	
G	0.09	0.18	1.20	0.009	0.001	0.022	0.0015	0.19	2.37	0.42	0.48	0.042		0.010		
H	*0.40	0.35	1.06	0.018	0.004	0.025	0.0018									
I	0.07	*0.82	1.86	0.01	0.001	0.035	0.0034				0.14		0.009	0.031		

* は本発明の範囲外

【0041】

※ ※【表2】

鋼番	鋼種	板厚 (mm)	圧延仕上 温度 (°C)	直接焼入れ冷却			焼戻し					Ar ₃ (°C)	YP (MPa)	TS (MPa)	vTs (°C)	目標 強度 グレード
				開始温度 (°C)	冷却速度 (°C/秒)	終了温度 (°C)	加熱速度 (°C/秒)	最高温度 (°C)	保持時間 (秒)	冷却速度 (°C/秒)	TP					
1	A	12	855	791	80	196	15	680	10	0.8	20940	751	524	633	-125	590MPa
2	A	30	864	827	35	150	5	630	30	0.2	20173	751	540	654	-109	590MPa
3	B	25	870	822	40	395	5	550	20	0.3	18065	764	507	648	-117	590MPa
4	B	35	851	819	30	299	2	550	25	0.25	18334	764	490	637	-102	590MPa
5	C	100	832	815	4	150	0.5	620	60	0.1	20723	760	466	616	-104	590MPa
6	C	60	863	840	10	164	1	560	30	0.15	19398	760	515	634	-113	590MPa
7	D	75	849	829	6	210	1	620	20	0.1	20461	654	761	817	-117	780MPa
8	D	60	816	789	12	188	0.8	630	40	0.15	20803	654	786	848	-104	780MPa
9	E	20	899	840	50	139	3	550	5	0.4	18153	714	744	835	-121	780MPa
10	F	40	841	806	20	230	2	550	10	0.2	18309	746	732	826	-101	780MPa
11	F	50	821	787	15	360	1	580	15	0.15	19388	746	720	814	-102	780MPa
12	G	75	823	805	8	145	1	640	30	0.1	20983	607	984	990	-113	950MPa
13	G	38	836	798	20	180	2	620	20	0.2	20202	607	1022	1084	-110	950MPa
14	A	12	866	795	80	183	8	680	10	0.8	*21160	751	495	608	*-64	590MPa
15	A	30	845	816	35	168	—	*480	300	—	—	751	555	692	*-37	590MPa
16	B	25	*760	*747	30	356	5	550	15	0.3	18044	764	*421	*564	*-69	590MPa
17	B	35	840	811	30	360	*0.2	580	20	0.3	19963	764	501	644	*-58	590MPa
18	C	100	829	814	*1	280	0.5	620	30	0.1	20716	760	*425	*555	*-45	590MPa
19	C	60	877	848	8	203	0.5	640	60	0.15	*21242	760	510	629	*-56	590MPa
20	D	75	835	817	6	194	*0.1	600	20	0.1	20777	654	792	860	*-85	780MPa
21	D	60	840	807	10	*530	0.8	630	20	0.15	20796	654	*653	*755	*-65	780MPa
22	E	20	876	828	50	163	15	700	10	0.4	*21459	714	690	786	*-84	780MPa
23	F	40	855	818	20	212	*0.3	560	25	0.2	19250	746	702	818	*-61	780MPa
24	G	75	830	817	8	169	1	640	600	0.1	*21168	607	958	982	*-88	950MPa
25	*H	50	870	843	15	190	1	560	10	0.15	18828	701	984	1043	*-77	950MPa
26	*I	38	882	855	20	222	2	630	20	0.2	20458	703	722	840	*-55	780MPa

* は本発明の範囲外

【0042】表2に示す各種温度および加熱速度、冷却速度は全て板厚方向での平均の値である。鋼板の表面温度を測定し、加熱条件、冷却条件からシミュレーション計算により算出した値である。

【0043】これらの厚鋼板の機械的特性として、強度（降伏応力：YP、引張強度：TS）、靱性（延性脆性破面遷移温度：vTs）を測定した。引張試験は、板厚が20mm以下の鋼板についてはJIS5号試験片を、また板厚が20mmを超えるものについてはJIS4号試験片を圧延方向と直角な方向に採取し試験を行った。衝撃試験は、JIS-4号標準試験片を圧延方向と平行に採取し試験を行った。本発明では、強度、靱性の両特性が目標を満足する必要がある。靱性は、vTsにより★50

★評価し、-100℃以下を本発明範囲とした。表2に、鋼番1～26における機械的特性の測定結果を併せて示す。

【0044】表2において、鋼番1～13は、本発明例であり、鋼種A、B、Cを用いた鋼番1～6は、TS590MPa級鋼として製造したもので、強度は目標とするYP≧460MPa、TS≧590MPaを満足している。又、靱性は、従来鋼のvTsがおおよそ-100℃以上であるのに比べて、すべて-100℃以下と優れている。鋼種D、E、Fを用いた鋼番7～11は、TS780MPa級鋼として製造したもので、強度は目標とするYP≧685MPa、TS≧780MPaを満足している。又、靱性は、これも従来鋼のvTsがおおよそ-

11

100℃以上であるのに比べて、すべて-100℃以下と優れている。鋼種Gを用いた鋼番12および13は、TS950MPa級鋼として製造したもので、強度は目標とする $Y_P \geq 885 \text{ MPa}$ 、 $TS \geq 950 \text{ MPa}$ を満足している。又、靱性は、これも従来鋼の vTs がおおよそ-100℃以上であるのに比べて、すべて-100℃以下と優れている。

【0045】これに対して、鋼番14~26は比較例であり、鋼番14~19は、TS590MPa級鋼として製造したもの、鋼番20~23、26は、TS780MPa級鋼として製造したもの、鋼番24、25は、TS950MPa級鋼として製造したもので、強度、靱性の何れかが目標値を達成していない。鋼番14、19、22、24は、TPが21000を超える焼戻し条件となっており、靱性に劣っている。鋼番15は、焼戻し温度が500℃に達しておらず、焼戻しが不十分で靱性に劣っている。鋼番16は圧延仕上温度が A_{r3} 点を下回ってしまい、それにとまって直接焼入れの開始温度も A_{r3} 点未満となってしまったために、強度が590MPa級鋼の目標に達しておらず、また靱性も劣っている。鋼番

12

17、20、23は、焼戻し時の加熱速度が0.5℃/秒に満たないために、靱性に劣っている。鋼番18は、直接焼入れ時の冷却速度が2℃/秒に満たないために、強度が590MPa級鋼の目標に達しておらず、また靱性も劣っている。鋼番21は、直接焼入れ終了温度が500℃を超えているために、強度が780MPa級鋼の目標に達しておらず、また靱性も劣っている。鋼番25、26は、それぞれC、Siが高いため、靱性に劣っている。

【0046】

【発明の効果】本発明の製造方法は、直接焼入れ後の焼戻し熱処理における個々のパラメーターとその組み合わせを最適化することが出来、しかも肉厚の厚いものも含むあらゆる肉厚の鋼材に対応することが可能であるので、非常に汎用性の高いものである。また、焼戻し熱処理に使用する設備の加熱能力および冷却能力の範囲内で個々のパラメーターを設定すれば良いので、既存の設備の制約を受けずに直接焼入れ焼戻しにより590MPa級以上の高靱性高張力鋼を製造することができ、産業上その効果は極めて大きい。

10

20